

Talajvizsgálatok a Tihama Alföldön (Jemeni Arab Köztársaság)

I. A talajképződés tényezői, talajképződési folyamatok

BOROS ISTVÁN, SZABOLCS ISTVÁN és VÁRALLYAY GYÖRGY

MTA Talajtani és Agrokémiai Kutató Intézete, Budapest

A Jemeni Arab Köztársaság az Arab Félsziget déli részén helyezkedik el, a Vörös-tenger partján, az északi szélesség 13° és 17° , valamint a keleti hosszúság 43° és 46° között (1. ábra).

A Tihama Alföld az Arab Félsziget 2 500—3 000 m tengerszint feletti magasságú hegyvidéke és a Vörös-tenger mély tektonikus árka között húzódó hosszú, keskeny (30—40 km széles), viszonylag sík, alacsonyfekvésű süllyedéktérület, amely délen átnyúlik a Déljemeni Köztársaság, északon pedig Szaúd-Arábia területére is. Ezt az északnyugat-délkelet irányú partmenti síkságot — amelynek jelentős része homoksivatag — északkelet-délnyugat irányú időszakos vízfolyások (vádik) medrei, törmelékkúpjai tagolják. A vádik a többnyire kopár és fedetlen hegyvidéki vízgyűjtőterületekre hulló csapadék tekintélyes részét a Tihama Alföldre vezetik. A viszonylag kedvező vízellátás eredményeképpen a vádik mentén, többnyire azok finom üledékanyagán, már évszázadokkal ezelőtt megindult egy sajátságos, vadárasztásos öntözéses növénytermesztés („Boldog Arábia”). Ennek korszerűsítése, kiterjesztése Jemen mezőgazdaságfejlesztésének és egész további fejlődésének kétségtelenül kulcskérdése.

A jemeni kormány kérésére a FAO és az UNDP az egyik legrégebbi és leggazdagabb öntözési hagyományokkal rendelkező területen, a Wadi Zabid területén a mezőgazdasági hasznosítás lehetőségeinek és feltételeinek a megállapítására, s a terület mezőgazdaságfejlesztési programjának kidolgozására a Vízügyi Tervező Vállalatnak (VIZITERV) adott megbízást. E munka keretében részletes talajtani felmérést végeztünk a szóbanforgó területen.

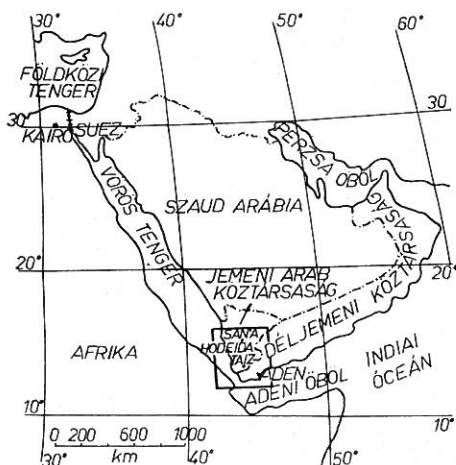
A) Természeti viszonyok, a talajképződés tényezői

A Wadi Zabid területe a Jemeni Arab Köztársaság délnyugati részén helyezkedik el az északi szélesség $14^{\circ} 10'$ és a keleti hosszúság $43^{\circ} 15'$ alatt, a Vörös-tengertől mintegy 25 km-re keletre (2. ábra). A talajtanilag felvételezett mintegy 20 000 hektárnyi terület a Hodeida-Mokka „orosz”-út két oldalán fekszik mintegy 28 km hosszúságban (kelet-nyugat) és 15 km szélességben (észak-dél).

1. Meteorológiai viszonyok [3, 9, 12]

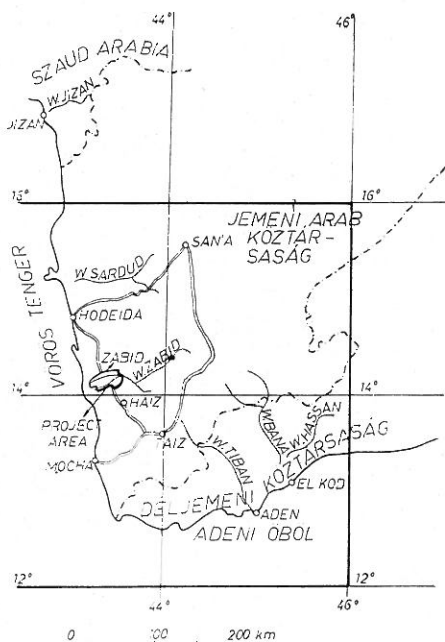
A terület meteorológiai viszonyaira vonatkozóan kevés megfigyelés és adat áll rendelkezésre, s rendszeres mérések csak 1969-ben indultak meg a Wadi-Zabid területén [3]. A Tihama Alföld jellegzetes arid trópusi vidék, éghajlata száraz és meleg. Az idevonatkozó irodalmi adatok [9, 12] szerint az évi középhőmérséklet 30°C . A legmelegebb hónap a június ($34,5^{\circ}\text{C}$), viszonylag leghűvösebb a január ($25,0^{\circ}\text{C}$). A léghőmérséklet szélső értékei 48°C , illetve 19°C . Igen erős a hőmérséklet napi ingadozása ($11\text{--}18^{\circ}\text{C}$), különösen a növényzettel csak gyéren borított területrészekben, ahol a tűző nap hatására a talajfelszín nem ritkán $60\text{--}70^{\circ}\text{C}$ -ra is felmelegszik.

Az uralkodó szélirány észak-északkeleti, a szél átlagos sebessége $6\text{--}7$ km/óra. Egész év folyamán, de különösen augusztusban, gyakoriak a ciklon-szerű porviharok. A levegő átlagos relatív páratartalma $50\text{--}60\%$. Igen jelen-



1. ábra

A Jemeni Arab Köztársaság földrajzi elhelyezkedése



2. ábra

A vizsgált terület földrajzi elhelyezkedése

tős a hőmérséklettel ellentétes napi ingadozása: reggel $80\text{--}95\%$, délután $25\text{--}35\%$ [3]. A Tihama Alföldön a csapadék évi átlagos mennyisége $70\text{--}100$ mm körüli. Mennyisége, idő- és térbeli eloszlása egyaránt erősen változó. A csapadék évi átlagos mennyiségének területi eloszlását mutatjuk be STEWART nyomán a 3. ábrán. A csapadék nagyrésze ($60\text{--}80\%$ -a) a Tihama Alföldön és a hegyvidéki vízgyűjtőterületeken egyaránt júliusban és augusztusban hull, többnyire nagyhőmérsékletű záporok formájában. Ezek a záporok eredményezik a vádák hirtelen, nagy és rövid időtartamú árhullámain. A csapadékos napok száma (csapadék mennyisége $>0,1$ mm) $15\text{--}20$ körüli. A nap-sütéses órák száma naponta átlag $7,2\text{--}9,0$. A szabad vízfelszín párolgása

1. táblázat

A vizsgált terület néhány fontosabb meteorológiai jellemzője
(A Wadi Zabid Project Meteorológiai Állomásának adatai [3])

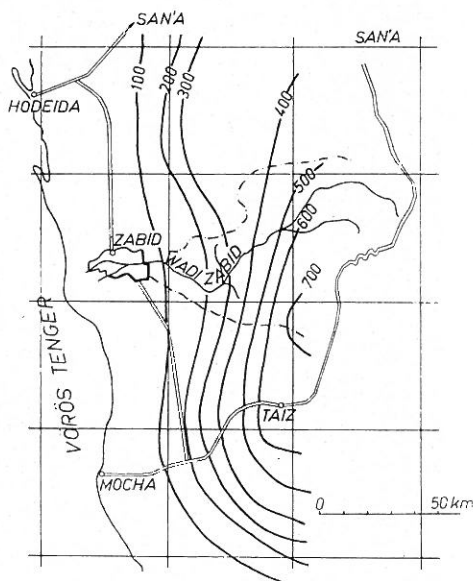
	1969						1970				
	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.	I.	II.	III.	IV.	V.
a) Havi közép-hőmérséklet °C	33,9	33,5	31,9	29,3	27,8	25,5	26,5	26,8	29,2	31,0	33,1
b) Relatív páratartalom %	55	54	63	59	64	65	66	69	66	54	50
e) Havi csapadék I mennyiség mm	45,4	15,2	30,5	0	0	0	14,9	0	0	1,7	0
II	—	—	80,9	0	0	0	2,9	0	0	3,2	0
d) Havi párolgás mm	—	—	—	—	219,0	220,1	179,8	204,4	275,9	354,0	396,6
e) Szélsebesség km/óra	—	—	5,8	5,4	6,5	7,2	6,5	7,6	8,6	8,3	8,3
f) Napsütéses órák száma	—	—	—	—	—	264	223	207	242	252	257

I. Zabid II. FAO Camp

Zabid környékén átlagban napi 9 mm (januárban 6,7 mm, októberben 10,5 mm), évente több mint 3000 mm. A Wadi-Zabid Project Meteorológiai Állomásán 1969—70 években mért fontosabb meteorológiai jellemzőket foglaltuk össze az 1. táblázatban.

2. Geológiai és geomorfológiai viszonyok [6, 7, 9]

A Tihama Alföld vádijainak jelenlegi vízgyűjtőterületét képező környező hegyvidéket főként vulkánikus eredetű, harmadkori kőzetek építik fel: bazalt, andezit, mezozoos telérkőzetek (lamprofir, aplit, kvarc stb.), paleozoos gránit, stb. Hasonló geológiai felépítésű a Tihama Alföld medencealjzata is, amelyet Maadhtól a tenger felé haladva egyre vastagodó harmad- és negyedkori üledékek fednek. A Tihama Alföld vulkánikus eredetű alapkőzete ugyanis



3. ábra

A csapadék évi átlagos mennyiségének eloszlása Jemenben (Stewart nyomán)

Maadhtól nyugatra, a Vörös-tenger mély tektonikus árkával párhuzamos törések mentén, a harmadkor végén és a negyedkor elején a mélybe süllyedt és erózióbázisává vált a mintegy 5000 km² kiterjedésű környező hegyvidéknek. Az eróziós tevékenység és a vádik ezt a süllyedéket töltötték fel mintegy 200–1000 m vastag rétegösszletükkel. Így a vizsgált terület tulajdonképpen a Wadi Zabid hatalmas törmelékkúpja.

A Wadi Zabid felső folyásának Kollah után legyezőszerűen kiszélesedő pleisztocén törmelékkúpja a maadh-i szűkület térségében csatlakozik a Wadi nagykiterjedésű és vastag tihamai szedimentumaihoz. Ez utóbbi anyaga főleg kavics, görgeteg és homok, helyenként finomszemű sivatagi homok és átmozgatott lösszerű anyag közbetelepülésével, amelyek képződése a törmelékkúp kialakulásával azonos időszakra tehető. A törmelékkúp felszínén ma 1–10 m vastagságban sárgásbarna színű, átmozgatott lösszerű anyag, kovagéles proluviális-deluviális-kolluviális üledékek, sivatagi homok



4. ábra

Légifénykép egy sivatagperemi, deflációval sújtott területről (lépték: 1 : 12 500)

(helyenként a törmelékkúp kavicsanyagával keveredve), a vádik, illetve az évszázados vadárasztásos öntözések finomszemcsés alluviális üledékei (homokos iszap, iszap) találhatók és képezik a talajképződési folyamatok alapanyagát, míg a vádik széles hajdani és jelenlegi medreiben helyenként a durva kavicsanyag van felszínen. A finomabb üledékek alatt általában 0–9 m mélyen található meg a törmelékkúp durva kavicságya, s biztosít kedvező természetes drenázst a területnek.

A vizsgált terület makrodomborzatilag sík, a törmelékkúp kelet-nyugat irányban enyhén lejt a tenger felé. Tengerszintfeletti magassága Maadh térségében 270–280 m, Zabid környékén 95–100 m, Tuheitánál 70–80 m. A geofizikai mérések [7] tanúsága szerint a szilárd medencealjzat is lejt a tenger felé, sőt lejtése nagyobb, mint a felszíndomborzaté, hisz terepalatti mélysége is nő (0 → 1000 m). A Tihama Alföld laza üledékkel kitöltött felszín-alatti víztározója tehát a tenger felé nyitott, ami a terület természetes drénviszonyai szempontjából kedvező.

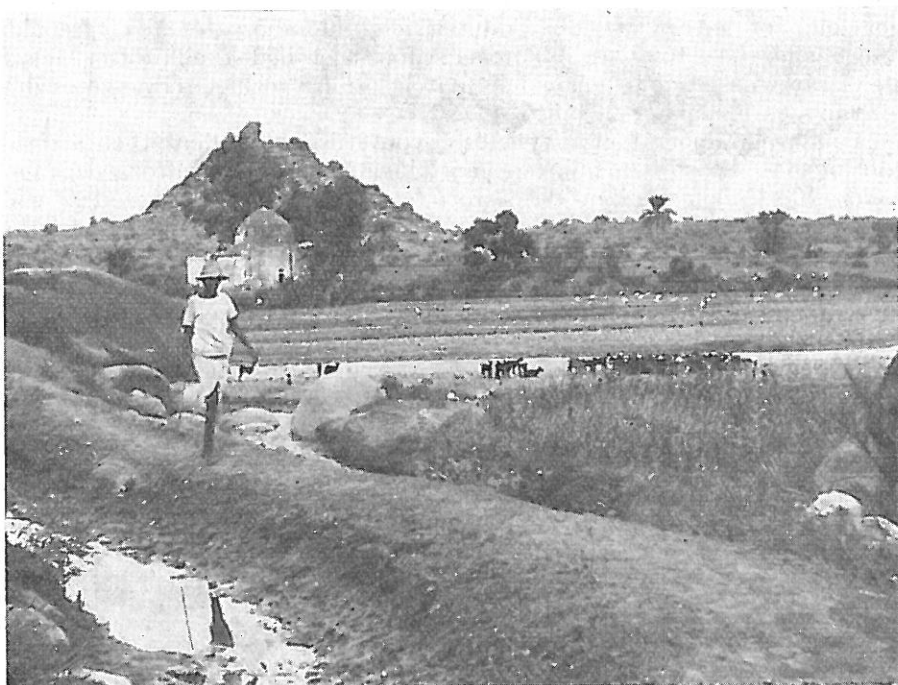
A makrodomborzat viszonylagos egyöntetűségével ellentétben a terület geomorfológiai, elsősorban mikrogeomorfológiai képe igen változatos, tagolt, mozaikszerű. Ennek részben természeti okai vannak (düneképződés, vádik bevágódása stb.), részben azonban az ember tevékenységének a következménye. A sivatagi és sivatagperemi részeken jórészt ma is állandóan mozgásban levő, úgyszólván teljesen kopár, növényzetmentes homokdűneformációk borítják a felszínt és fenyegetik állandó homokborítás veszéllyel a mezőgazdaságilag hasznosított, öntözött területeket. Jól szemlélteti ezt a 4. ábrán bemutatott légifénykép, amely egy sivatagperemi, defláció által sújtott területet ábrázol a Wadi Zabid délnyugati részéről. Az 5. ábrán egy homokdűnével tagolt sivatagi rész fényképét mutatjuk be.



5. ábra
Homokdűnék a Tihama Alföldön

A Wadi Zabid és mellékágai gyakran mélyen bevágódnak eolikus szedimentumokkal, proluviális-deluviális-kolluviális üledékekkel keveredett saját hordalékanyagukba és bevágódásaik erősen tagolják a törmelékkúp eredeti felszínét. Két ilyen bevágódott vádimedret mutatunk be a 6. és 7. ábrán. A 6. ábrán a Wadi Zabid főmedrének jellegzetes geomorfológiai képét láthatjuk, míg a 7. ábra egy lösszerű anyagba élesen és mélyen bevágódott vádimedret ábrázol.

A terület mikrogeomorfológiájára igen nagy hatást gyakorolt az ember tevékenysége. A terület parasztjai ugyanis évszázadok óta igyekeztek a maguk



6. ábra

A Wadi Zabid főmedre Maadhnál

primitív eszközeivel, műtárgyak, szivattyúk, gépek és műszaki berendezések, sőt a területtakarékosság miatt csatornák nélkül, a vizet tábláról táblára vezetve, minél több vizet megmenteni a mezőgazdaság számára a vádik rendszertelen, hirtelen és heves árhullámai idején. A vízelosztásnak és vízjognak sajátos rendszere alakult ki és a magas gátak szövevényes rendszere épült. Ezek a gátak nem ritkán 6—7 m magasságot is elérnek és azt eredményezik, hogy sok esetben szomszédos táblák szintkülönbsége is nagy, öntözhetősége különböző, vízborítása, nedvességforgalma, növényzete és ennek megfelelően talaja merőben eltérő. Jól szemlélteti ezt a 8. ábrán bemutatott légifénykép, amely a Wadi Zabid délkeleti részének egy intenzíven öntözött területét ábrázolja a Wadi elágazó főmedrének egy részletével.

3. Hidrológiai viszonyok [1, 3, 6, 8, 9]

A területen tavak, időszakos vízállások nincsenek, egyetlen élő vízfolyás van, a Wadi Zabid. A Wadi Zabid mintegy 5000 km²-nyi hegyvidéki vízgyűjtő-területét kopár, meredek, 2000—3000 m magas sziklás hegyek képezik. A Wadi a maadh-i szűkületnél mintegy 250 m tengerszintfeletti magasságban lép a Tihama Alföldre és onnan kelet → nyugat irányban haladva, s vízutánpótlást nem kapva, mintegy 40—50 km-nyi út után elvész a homoksivatagban. Vízhozama és hordalékanyaga nagyon változó, a hegyekre hulló csapadék nagy



7. ábra

Lösszerű agyagba bevágódott wadimed a Tihama Alföldön

(több méteres) és rövid időtartamú (néhány órá) árhullámokat okoz, száraz időszakban alig van benne víz. A vízgyűjtőterület csapadékviszonyainak megfelelően a lefolyás 60—70%-a a harmadik évnegyedre (július-szeptember) esik. A Wadi vízhozamával párhuzamosan jelentősen változik lebegtetett üledéktartalma is, árhullámok idején 40—85 g/lit, kisvíz idején csupán 0,01—2

g/lit. (1, 5, 11). A lebegtetett üledék viszonylag homogén szemcseösszetételű iszap (0,002—0,05 mm). A görgetett hordalék mennyisége a lebegtetett üledéknek csak mintegy 10%-a, a folyásirányban csökken, anyaga főként andezit, gránit és bazalt [3, 9].

A Wadi Zabid vízének kémiai összetételére vonatkozó adatainkat a 2. táblázatban közöljük (1—3. vízminták). Az adatok szerint a víz összes oldott sótartalma kicsi (száraz maradék < 500 mg/lit, elektromos vezetőképesség $< 0,8$ mmhos/cm), szódát csak nyomokban tartalmaz, kémhatása lúgos ($\text{pH} \approx 8,0$), nátrium százaléka 45—50, SAR-értéke elég alacsony (2,5—3,0). A kationok közül a Na^+ uralkodó (3,9 mgeé/lit), a Ca^{2+} és Mg^{2+} mennyisége ennél egyaránt lényegesen kisebb (2,1 illetve 1,9 mgeé/lit.). Az anionok közül legnagyobb mennyiségben a HCO_3^- ionok fordulnak elő (3,5 mgeé/lit), a Cl^- , de különösen a SO_4^{2-} ionok mennyisége ennél kisebb (2,3 illetve 1,9 mgeé/lit).



8. ábra

Légifénykép a Wadi Zabid egy intenzíven öntözött területéről (lépték: 1 : 12 500)

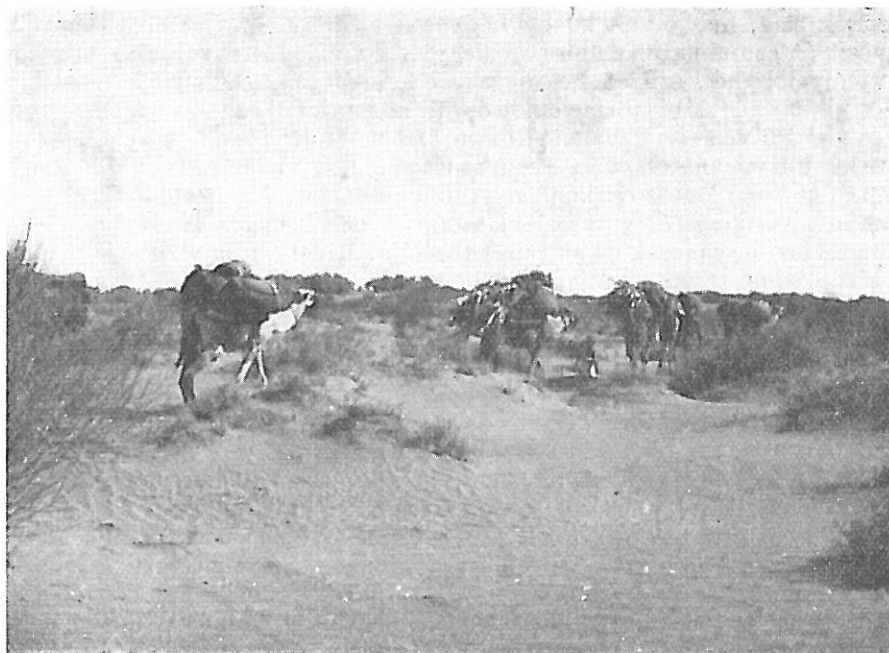
A közölt adatok kisvíz idején gyűjtött mintákra vonatkoznak, árhullámok idején a Wadi vizének kémiai összetétele még kedvezőbb, sótartalma és $\text{Na}\%$ -a egyaránt kisebb. A Wadiból a tábláig történő vízvezetés során a víz oldott sótartalma és kémiai összetétele — mint ezt az árasztóvizek elemzési adatai igazolják — gyakorlatilag nem változik (2. táblázat 4.—7. vízminták).

A terület *talajvízviszonyaira* vonatkozóan a Wadi Zabid Project vízföldtani és talajvízhidrológiai tanulmányai [6] szolgáltatották az első adatokat. A talajvízszint átlagos terepalatti mélysége 7–40 m között váltakozik, s mivel a törmelékkúp finom üledékretegei ennél rendszerint vékonyabbak, a talajvíz legtöbb esetben kavicsban áll. Ez viszont azt jelenti, hogy a talajvíz párolgási veszteségeivel, talajképződési folyamatokra gyakorolt hatásával nem kell számolni. A talajvíztükör tengerszintfeletti magassága a maadh-i medenceperemnél 260 m, a vizsgált terület nyugati határánál 48 m, a talajvízdomborzatnak tehát egy jelentős, $5-10\%$ -es lejtése van kelet-nyugati irányban. Ilyen hidraulikus gradiens mellett a jó vízvezetőképességű ($K = 10-100 \text{ m/nap}$) mélyebb talajrétegekben jelentős horizontális talajvízáramlás megy végbe a tenger irányában és a tenger felé nyitott törmelékkúp víztároló rétegösszleteiből — mintegy 50 km-es szakaszon — jelentős mennyiségű talajvíz jut a tengerbe. Fentiekből következik, hogy a Wadi Zabid tájának természetes drénviszonyai jók, a talajvízszint ingadozása jelentéktelen (0–1,5 m), s tengervíz beszűrődéssel sem kell számolni még a dinamikus talajvízkészlet a jelenleginél sokkal intenzívebb kitermelése esetén sem. A talajvízkészlet fő táplálója közvetlenül vagy közvetve a Wadi (évi átlagban $2 \text{ m}^3/\text{sec}$). A mélységi vizek ilyenirányú szerepe elhanyagolható, hisz a tömör medencealjat teljesen vízzáró és gyakorlatilag törésmentes. Ugyancsak nem jöhet számításba a helyi csapadék sem, hisz olyan kevés, hogy alig néhány centiméteres talajréteget nedvesít át csupán rövid időre. A hegyvidéki vízgyűjtőkre hulló, s a kopár, fedetlen, meredek, sziklás hegységekről lefolyó csapadékvíznek csak kisebb része jut a heglábi törmelékletjtőkről közvetlenül a talajvízbe, nagyobb részét a Wadi vezeti a Tihama Alföldre. Itt a Wadi vizének nagyobb hányada a meder durva kavicságyán átszivárogva a talajvízbe jut, kisebb hányada (kb. $0,6 \text{ m}^3/\text{sec}$) öntözővízként nyer felhasználást. Ez utóbbinak egy része azonban a vadárasztásos öntözések során — szivárgási veszteséggént — végeredményben ugyancsak a talajvizet táplálja. Mivel a talajvízkészletet tápláló vizek túlnyomó része szivárgása közben csak rövid ideig és főként csak durva vázrészekkel, üledékekkel érintkezik, a talajvíz kémiai összetétele kevésbé tér el a Wadi vizétől. Mivel pedig a talajvíz többnyire kavicsban áll, horizontális áramlása jelentős, vízcseréje élénk, a kémiai összetétel területileg kiegyenlített, bár keletről nyugat felé haladva a sótartalom és $\text{Na}\%$ enyhe növekedése figyelhető meg. A 2. táblázatban közölt adatok szerint (8.—14. vízminták) a talajvíz összes oldott sótartalma kicsi (száraz maradék 0,5–0,7 mg/lit, elektromos vezetőképesség 0,80–1,00 mmhos/cm), szódát csak helyenként tartalmaz kis mennyiségben, kémhatása lúgos (pH 7,9–8,2), nátrium %-a 40–50, SAR értéke 2,5–3,5. Kationok közül a Na^+ uralkodó (4–5 mgeé/lit). A Wadi vizéhez viszonyítva egyes esetekben feltűnően nagy a Mg^{2+} mennyisége (3–4 mgeé/lit), míg a Ca^{2+} mennyisége 1,5–2,5 mgeé/lit körül mozog. Anionok közül a hidrokarbonátok túlsúlya még szembetűnőbb, mint a Wadi vize esetében: HCO_3^- : 4,5–5,5 — Cl^- : 2,0–3,0 — SO_4^{2-} : 1,5–2,0 mgeé/lit.

2. tábl

Vizek kémiai összetétele

(1)	(2)	(3)		(4)	(5)	(6)
Víz származási helye	A vizsgált terület mely részéről származik	Milyen talajtípus alól származik Számok magyarázata: [1]	pH	Száraz maradék g/liter	Elektromos vezetőképesség mmhos/cm	Szóda egyenérték
1. Wadi Zabid vize	K	—	8,0	0,472	0,74	—
2. Wadi Zabid vize	közép	—	7,9	0,472	0,74	—
3. Wadi Zabid vize	NY	—	8,0	0,430	0,74	—
4. Árasztóvíz	—	—	8,2	0,464	0,72	—
5. Árasztóvíz	—	—	8,1	0,462	0,74	—
6. Árasztóvíz	—	—	8,1	0,496	0,76	—
7. Árasztóvíz	—	—	7,8	0,692	0,80	—
8. Talajvíz (107. szelv.) ...	É	1.21	8,2	0,622	0,88	0,57
9. Talajvíz (43. szelv.)	ÉNY	2.2	7,9	0,582	0,88	—
10. Talajvíz (217. szelv.) ...	ÉK	3.2	8,2	0,634	0,80	—
11. Talajvíz (52. szelv.)	DNY	3.2	7,9	0,526	0,79	—
12. Talajvíz (214. szelv.) ...	ÉK	3.4	8,2	0,558	0,86	0,48
13. Talajvíz (17. szelv.)	NY	4.	8,2	0,732	1,05	—
14. Talajvíz (18. szelv.)	NY	4.	8,0	0,612	0,94	0,42



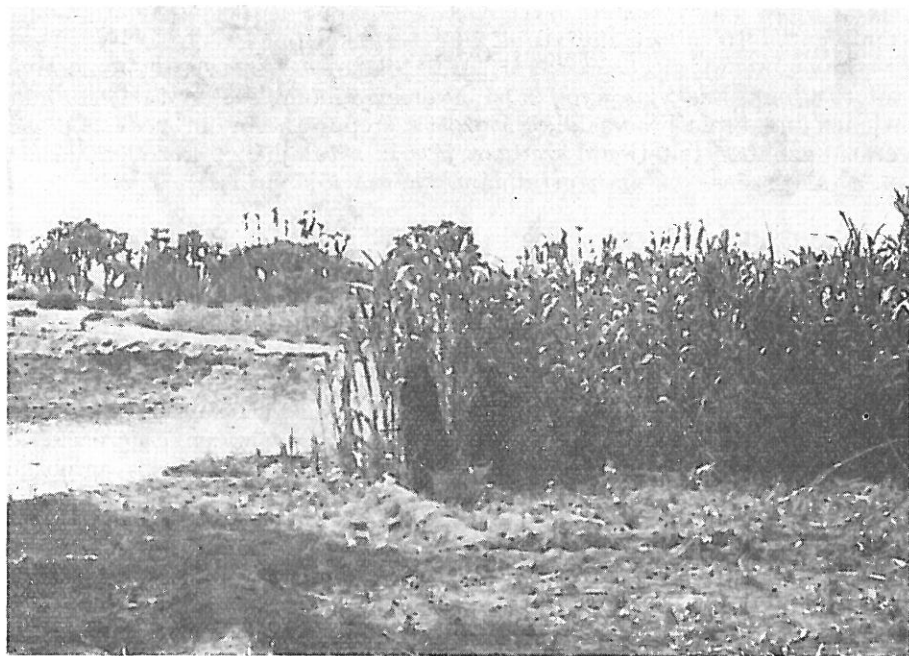
9. ábra

Természetes növényzet a Tihama Alföldön

lázat

a Tihama Alföldön

Anionok				Kationok				Na %	SAR	(7) Összes N mg/liter
CO_3^{2-}	HCO_3^-	Cl^-	SO_4^{2-}	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	K^+			
mgéé/liter										
—	3,50	2,39	1,88	2,12	1,98	3,86	0,20	47,3	2,69	4,02
—	3,62	2,35	1,90	2,12	1,98	3,91	0,20	47,6	2,72	4,88
—	3,42	2,28	1,90	2,08	1,94	3,99	0,20	48,6	2,82	3,34
0,48	3,79	2,05	1,59	2,41	1,94	3,60	0,18	44,3	2,45	3,03
0,08	3,18	2,43	1,83	1,87	1,69	4,04	0,23	51,6	3,03	4,02
0,32	3,66	2,50	1,96	2,29	1,89	4,17	0,24	48,5	2,88	0,68
—	4,19	2,35	1,86	2,41	2,22	4,04	0,21	45,4	2,65	2,10
0,28	5,82	1,92	1,59	1,04	4,19	4,13	0,14	43,4	2,55	9,83
—	5,26	2,48	1,54	1,82	3,82	4,26	0,14	40,3	2,54	4,39
0,48	5,20	2,58	1,76	3,07	2,14	4,24	0,21	43,9	2,63	3,58
—	4,69	2,03	1,40	1,56	3,67	3,39	0,20	37,4	2,09	7,04
0,64	5,24	2,85	1,93	2,16	2,56	4,47	0,64	45,4	2,90	0,55
—	4,98	2,82	1,76	2,14	3,77	5,47	0,17	47,4	3,19	17,55
—	5,22	2,26	1,60	2,40	2,22	5,21	0,15	52,2	3,43	13,04



10. ábra
Öntözött durraállomány a Tihama Alföldön

4. Növényzet [8, 9]

A vizsgált terület természetes növényzete csak a mezőgazdaságilag nem művelt, sivatagi részekben található meg, szegényes, mélyreható, de viszonylag kistömegű gyökérrzettel rendelkezik, a talajképződési folyamatokra gyakorolt hatása igen mérsékelt. Vegetációtípust illetően a terület nagyrésze a trópusi sivatagok szomáliai-arab növényformációjához tartozik, kisebb része pedig a száraz trópusok xerofita, fás-bokros-cserjés vegetációtípusának szomáliai-jemeni formációjához. A 9. ábrán a tihamai táj jellegzetes természetes növényzetét mutatjuk be. A füves növényzet jellemző képviselői a *Chrysopogon Aucherii*, *Paspaladium desertorum*, *Coelachyrum praeclorum*, *Maerua grassifolia*, *Euphorbia* sp. stb., cserjék közül a *Helitropium bicolor*, *Croton Cliffordii*, *Olea chrysophylla*, *Tarchonanthus camphoratus*, *Juniperus procera*, *Calystegia sepium* és *C. soldanella*, kaktusz félék, *Lactarius volemus*, *Euphorbia* sp., stb., fák közül az *Acacia asak*, *A. mellifera*, *A. spirocarpoides*, és *A. tortilis*, *Commifora opobalsamum*, *Pistacia* sp., *Tamariscus* sp., *Rhododendron* sp., pálmafélék stb.

Az öntözött és művelt területeken a főbb termesztett növények a következők: gabonafélék közül különböző *Sorghum* fajok (durra), *Pennisetum* fajok (dohon), a vízzel egyenletesebben ellátott területeken a kukorica, hüvelyesek közül a tehénborsó (digira), ipari növények közül a gyapot és az olajos-magvú szezám, zöldségfélék közül a káposztafélék, paradicsom, paprika, tojásgyümölcs, tök, uborka, dinnye, hagyma, saláta, sárgarépa, retek, gyümölcsfélék közül pedig a banán, datolya, mangó, papaja és a kaktuszgyümölcs. A kultúrába vont területeken fenti növények jellegzetes gyomvegetációja is kialakult. Bár a termesztett növények, különösen a dús durra állományok — amilyent a 10. ábrán mutatunk be — gyökértömege viszonylag jelentős szervesanyagmennyiséget produkál a talajban, ez a szervesanyagmennyiség az adott klimatikus viszonyok közt gyorsan elbomlik és a talaj humuszos szintjének kialakításában csak korlátozott szerepe van. Az öntözés és a növényi vegetáció azonban feltétlenül szerepet játszik a talajképző közet mállásában, és pl. a talaj szénsavas mésztartalmának migrációjában is.

5. Mezőgazdasági termelés hatása

A természeti viszonyok mellett a vizsgált területen igen jelentős, sok esetben döntő hatást gyakorolt a talajképződési folyamatokra az ember tevékenysége. A vadárasztásos öntözési gyakorlathoz épített szővevényes gátrendszer merőben átalakította a terület mikrogeomorfológiai arculatát. Maga a vadárasztás eróziós és szedimentációs tevékenységével döntő talajképződési tényezővé vált. A fokozott vízellátás közvetlenül és a növények erőteljes fejlődését segítve közvetve is egy sokkal intenzívebb mállást, anyagmozgást, mikrobiológiai aktivitást eredményezett, ami végső soron oda vezetett, hogy az öntözött területeken a hasonló klimatikus viszonyok között kialakuló jellegzetes zonális talajtípus (Sivatagi talajok — Desert soils) helyett csapadékosabb éghajlatú területekre jellemző talajtípus (Arid trópusi barna talaj — Tropical Arid Brown Soil) jött létre. Az öntözés gyakoriságában, rendszerességében, intenzitásában, és ennek megfelelően a növényzetben meglévő különbségek fentieknek megfelelően a talajok különbözőségében is visszatükröződnek.

Jelentős hatása volt az ember szélerózióval, homokverésekkel szembeni küzdelmének is, amely gátat vetett a sivatagi homok hódításának, vagy legalábbis eredményesen mérsékelte azt. Az öntözés e téren is döntő tényezővé vált, hisz a nedves felszínű, vagy állandó és sűrű növényállománnyal fedett területekről a szél kevésbé tudja a homokot magával ragadni. Igen jó gyakorlati példát nyújtanak erre vonatkozólag a Wadi Zabid nyugati részén, tulajdonképpen a sivatagra települő, csőkutakból öntözött farmok.

B) Talajképződési folyamatok

Az adott természeti viszonyok között a talajképződés feltételei igen korlátozottak. A talajok — különösen a kopár, növényzettel csak gyéren borított felszíni talajrétegek — napsugárzásnak erősen kitéttek, szárazak, forrók, nem ritkán 60–70 °C-ra is felmelegszenek. A nyári hónapokban rendszertelenül, többnyire gyors záporok formájában lehulló csapadék csak vékony felszíni réteget nedvesít be rövid időre, a talajszelvény nagyrésze állandóan száraz. A szárazság miatt a vegetáció gyér, helyenként teljesen hiányzik. A mélyen gyökerező, tüskés, xerofita fűfélék, bozótos bokrok, alacsonynövésű fák gyökértömege kicsi, szervesanyagtermelésük jelentéktelen, a talajszelvényben egyenletesen eloszló (isohumic).

Bár a fizikai mállás — elsősorban a jelentős napi hőmérsékletingadozások következtében — erős, a nedvesség és aktív biológiai tevékenység hiányában a kémiai mállás lehetőségei korlátozottak és a talajszelvényben nem megy végbe jelentősebb anyagmozgás (agvagmozgás, CaCO_3 és CaSO_4 migráció, sóforgalom stb.) sem. Ennek megfelelően a kialakuló talajok szelvénye egyöntetű, abban jellegzetes genetikai szintek nem figyelhetők meg és csupán a különböző korú és geogenetikus eredetű, különböző mechanikai összetételű rétegek teszik azt változatossá.

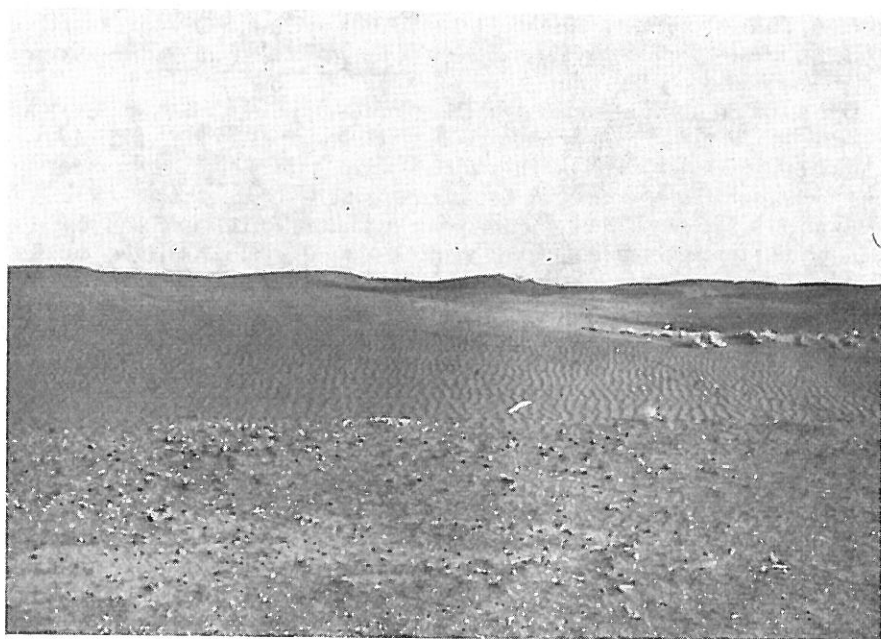
Öntözött viszonyok közt merőben mások a körülmények. A talajok időnként átmedvesednek, nem ritkán huzamosabb ideig vízborítás alá kerülnek, felmelegedésük mérséklődik, dús növényállomány alakulhat ki rajtuk. A periodikusan meg-megismétlődő nedvesedések — kiszáradások és a fokozott biológiai aktivitás intenzívebb mállást, anyagforgalmi (humuszképződés és lebomlás, agyagásványképződés és bomlás, oldódás és kicsapódás stb.) és anyagmozgási (agvag, CaCO_3 , vízdoldható sók stb.) folyamatokat eredményeznek, amelyek eredményeképpen — ha nagyon lassan és kismértékben is — megindul a talajszelvény bizonyos differenciálódása. Fentiekből következik, hogy a vizsgált területen végbemenő talajképződési folyamatok részben természetes folyamatok (erózió, defláció, eolikus és fluviatilis szedimentáció), részben az ember tevékenységének közvetlen vagy közvetett hatására kialakuló folyamatok (üledékképződés, szikesedés stb.). Legjelentősebbek e folyamatok közül az alábbiak:

1. Defláció — Eolikus szedimentáció.

A szél munkájának egyik legszembevetőbb folyamata a *dűneképződés*. Jellegzetes és állandóan mozgásban levő homokdűneformációk borítják a Tihama Alföld sivatagi területeinek nagyrésztét (5. ábra), de állandó homokverés- és deflációveszéllyel fenyegetik a Wadi Zabid nyugati, északi és déli sivatagperemi területeit is (4. ábra). A dűnek igen változatos mikrogeomorfo-

lógiai formációkat alkotnak, a magas futóhomokdomboktól kezdve a barkános mezodünek komplexen keresztül az apró dűnékig, amelyek kizárólag a fűvek és bokrok tövei körül maradnak meg. A valódi homokdűnék mellett jellegzetes a területen az ún. *pszeudo-homokdűne képződés* is. Ilyet tapasztalhatunk úgyszólván valamennyi sivatagperemi részen, defláció által károsított, homokkal többé-kevésbé befűjt területen. A pszeudo-homokdűne teljesen a durva futóhomokokhoz hasonlóan viselkedik (erős szél sem emeli magasra, „verése” ellen már 50–60 cm-es gát is védelmet nyújt stb.), szemcséi azonban nem durva elemi homokszemcsék, hanem ezekhez hasonló méretű, CaCO_3 -tal össze-cementált iszapaggregátumok. Ezért bár a pszeudo-homokdűnék anyaga a helyszíni, érzékszervi vizsgálatok alapján többnyire durva homoknak, homoknak minősül, a sósavas roncsolás után végzett mechanikai elemzés adatai szerint feltűnően nagy mennyiségű iszapot (0.05–0.002 mm) tartalmaz.

A szél tevékenységével kapcsolatban még két jellegzetes felszíni képződmény figyelhető meg a Wadi Zabid sivatagperemi részein. Az egyik a talaj felszínén helyenként előforduló 1–2 mm vastag, „*törékeny kéreg*” („brittle



11. ábra

A szél tevékenysége nyomán kialakult geomorfológiai képződmények a Tihama Alföldön

crust”). Ennek kialakulása vagy úgy ment végbe, hogy egy-egy hirtelen zápor a pszeudo-homokdűne mésszel cementált aggregátumait elemi szemcséire verte szét és a széttiszapolódott szemcsék szerkezet nélküli halmazza képezett kérget a talaj felszínén, vagy a szél fokozatosan elhordta a felső laza homokréteget és a talajszelvényben eredetileg mélyebben elhelyezkedő, fluviatilis eredetű iszapszalag került felszínre. A felszíni kéreg rontja a talaj vízelnyelő-képességét, ugyanakkor bizonyos védelmet nyújt a defláció pusztító hatása ellen.

A másik képződmény az ún. „sivatagi kövezet” („desert pavement”), amely úgy keletkezett, hogy a szél a kevert üledékek finomabb részeit (por, homok) magával ragadta, így a durva vázrészek (murva, kavics) maradtak vissza a felszínen. Ez a folyamat a sivatagi talajpusztulás kétségtelenül egyik legszükségesebb, legkárosabb formája, hisz a mezőgazdasági hasznosítást lehetetlenné teszi.

Az említett képződmények gyakran kombinálódva jelennek meg, a bemutatott 11. ábrán például a homokdűnék, a felszíni kéreg és a „sivatagi kövezet” egyaránt megfigyelhető.

A szélnek a múltban is igen fontos szerepe volt a finomabb szemcséjű mállástermékek szállításában, áttelepítésében, egymásrarétegzésében. Így nagyrészt eolikus eredetű az a tekintélyes löszszerű üledékréteg, amely helyenként 5–8 m vastagságot is elér és a művelt területek nagyrésztén az arid trópusi barna talajok talajképző kőzetéül szolgál. Ez az üledékanyag a löszhöz hasonló makro- és mikrostruktúrát mutat: ahol a vádik medre laza talajba mélyen bevágódott, meredek falakat képez (7. ábra), porózus, puha, gömbölyű mészkonkréciók találhatók benne stb. Anyagának túlnyomó része a környező hegyvidékek különböző mértékben mállott kőzetanyagából származik, amelyet a szél telepített a szóbanforgó területekre. Feltételezhető, hogy a felhalmozódásban közvetve az ember tevékenysége is szerepet játszott, az öntözött növényzettel borított, nedves részeken ugyanis a lerakott finom eolikus üledékek kevésbé válhattak a következő szélviharok deflációs martalékává.

Az eolikus szedimentáció tehát egyrészt talajképző kőzetet, talajképző-dési alapanyagot eredményezett, másrészt a talaj felső rétegeinek elhordásával, illetve a talajfelszín homokborításával közvetlen talajképződési tényezővé vált.

2. *Erózió—Fluviatilis szedimentáció.*

Igen jelentős folyamat a talajképződés szempontjából a folyóvízi üledékképződés, a fluviatilis szedimentáció, hisz a vizsgált terület jelentős hányadát (kb. 30%-át) borítják különböző öntéstalajok, s tulajdonképpen az egész szóbanforgó terület a Wadi Zabid hatalmas törmelékkúpja, ahol a talajképző kőzetet túlnyomórészt alluviális üledékek képezik.

A szedimentáció kezdeti szakasza a *görgetett hordalék durva kavicsanyagának a lerakása*. A múltban a vizsgált területen ez a tevékenység jóval intenzívebb volt, mint jelenleg és sokkal nagyobb területeket érintett. A Wadi árhullámai ma ugyanis lényegesen kisebbek mint régen, hisz egyrészt szárazabbá vált a klíma, másrészt a hegyvidéki vízgyűjtőterületek egy részét teraszolták és a teraszokon jelentős mennyiségű vizet tartanak vissza az ott termesztett növények vízellátására. A hajdani vádi-medrek vonala, sőt azok geológiai története a felszín alatt, vagy a felszínen húzódó kavicságak településviszonyainak elemzése alapján jól nyomon követhető. Ma ez a tevékenység csupán a Wadi Zabid főmedrére és néhány kisebb oldalmederre korlátozódik és közvetlen mezőgazdasági jelentősége nincs.

Sokkal fontosabb a *lebegtetett üledékanyag szedimentációja*, hisz a Wadi Zabid jelenleg évente mintegy 3–4 millió tonnányi lebegtetett üledékanyagot szállít a Tihama Alföldre [3], amelynek legnagyobb része a Wadi-ból öntözött területeken ülepszik a talaj felszínére, s válik a talajképződési folyamatok és a növénytermesztés fontos tényezőjévé. A Wadi lebegtetett üledéktartalmanak mennyisége és kémiai összetétele a Wadi vízhozamától, illetve eróziós

tevékenységének mértékétől függ. Ez utóbbi elsősorban a hegyvidéki vízgyűjtőterületen érvényesül, s a vádik közvetlen eróziós rombolása a vizsgált területen minimális (meder szélesítése, meredek partfalak alámosása stb.). A lerakott üledékréteg vastagsága és mechanikai összetétele a Wadi vizének lebegtetett üledéktartalmától, a Wadiból a táblára történő vízvezetés módjától, távolságától, időtartamától, a vízborítás nagyságától, a víz sebességétől függ. Mivel a területtakarékoság érdekében az öntözővizet az esetek nagyrésztében nem csatornában, hanem közvetlenül a táblákon vezetik, a nagy mennyiségű és helyenként viszonylag gyors sodró víz eróziós hatásával is számolni kell, mind a lehordás, mind a szedimentáció vonatkozásában. Ilyen szempontból a vizsgált területen az alábbi folyamatok, illetve azok hatása figyelhető meg:

a) Azokon a területeken, ahova a múltban rendszeresen eljutott a Wadi vize (vagy az abból származó öntözővíz), de már hosszú ideje nem kaptak



12. ábra

Felszíni iszapfelhalmozódás vadárasztással öntözött tihamai területen

víz- (s így üledék-) borítást, a felhalmozódott alluviális üledékanyagon indult meg a talajképződés (pl. a csőkutakból öntözött, defláció ellen védett területeken), de az esetek nagyrésztében homok fújta be a területet.

b) Azokon a területeken, ahova a Wadi vize (vagy az abból származó öntözővíz) ma is eljut, de sem eróziós, sem szedimentációs tevékenysége nem érvényesül jelentősebb mértékben, ott a fluviatilis vagy eolikus üledékanyagon lassan megindul a talajképződési folyamat.

c) Azokon a területeken, ahova nemcsak a Wadi vize (vagy az abból származó öntözővíz), hanem annak gyakran igen tekintélyes üledékanyaga is eljut, a talajképződési folyamatok megindulását az ismételt iszapborítások megakadályozzák.

d) Ugyanígy nem indulhat meg természetesen a talajképződési folyamat azokon a részeken sem, ahol a Wadi, vagy az erős sodrú, gyors folyású, mély árasztóvíz eróziós, elmosó, elsodró hatása érvényesül.

Fentiekből kitűnik, hogy a vizsgált területen megfigyelhető fluviatilis szedimentáció túlnyomó része nem közvetlenül a vádik, hanem a vadárasztásos öntözési gyakorlat eredményeképpen ment végbe, s így az előforduló üledékek nagyrésze nem tipikus alluvium, hanem ún. „öntözési üledék” [2].

Az elhordási és üledékképződési folyamatok váltakozó hatásának eredményeképpen alakul ki a vizsgált területen található öntéstalajok vízszintesen rétegzett profilja, helyenként eolikus üledékek (elsősorban homok) közbetelapulásával, jellegzetes iszapcsíkokkal, iszapszalagokkal.

Az öntözés folyamán az árasztóvíz sebessége előbb-utóbb minimálisra csökken, így finom lebegtetett hordalékanyaga is leülepszik iszapréteg formájában. Ezek az iszaprétegek az öntéstalajok szelvényében, egyes esetekben a felszínen jól megfigyelhetők. Különösen mikrodepressziókban halmozódik fel helyenként vastag, 20–50 cm-es iszapréteg. Ilyen felszíni iszapfelhalmozódást mutatunk be a 12. ábrán. A lerakott finom üledék néhány fontosabb fizikai és kémiai jellemzőjét a 3. táblázatban közöljük. Mint az adatokból kitűnik az üledékanyag viszonylag homogén szemcseösszetételű iszap. Az iszaprétegek vízáteresztőképessége gyenge, erősen duzzadnak, zsugorodnak, repeznek. Míg a vastag felszíni iszapborítás emiatt kedvezőtlen, a könnyű mechanikai összetételű talajok szelvényében elhelyezkedő vékony iszaprétegek a talaj vízkapacitását, víztartóképességét növelik, vízgazdálkodási tulajdonságait, termékenységet kedvező irányban befolyásolják. A meg-megismétlődő iszapborításoknak bizonyos „trágyázó” hatásával is számolni lehet, azonban nem olyan mértékben, mint ahogy azt a közhiedelem tartja. Erre vonatkozóan egy felszíni iszapkéreg és egy környező talaj tápanyagvizsgálati adatait kö-

3. táblázat

A lerakott üledék fizikai és kémiai jellemzői

(1) Fizikai jellemzők	(2) Friss felszíni iszap- lerakódás	(3) Mellettelevő 147. szelvény feltalaja	(4) Kémiai jellemzők	(2) Friss felszíni iszap- lerakódás	(3) Mellettelevő 147. szelvény feltalaja
a) Mechanikai összetétel %*			pH	8,10	8,10
b) Sósavas átdolgozás vesztése	13	8	CaCO ₃ %	7,0	5,0
1–0,25 mm	—	—	d) Összes só %	0,08	0,06
0,25–0,05 mm	1	20	e) Összes humusz %	1,7	0,9
0,05–0,02 mm	58	50	f) Összes N %	0,14	0,06
< 0,002 mm	28	22	g) Királyvízoldható P ₂ O ₅ %	0,14	0,06
c) Fajsúly	2,85	2,81	g) Királyvízoldható K ₂ O%	0,64	0,40
			h) Laktátoldható P ₂ O ₅ mg/100 g	34	40
			h) Laktátoldható K ₂ O mg/100 g	30	35

* A finomabb szemcsefrakciók a kavicsmentes talaj %-ban vannak kifejezve.

zöljük a 3. táblázatban. Az adatok szerint a felvehető P_2O_5 és K_2O tartalomban nincs különbség, viszont a királyvízoldható P_2O_5 és K_2O tartalmat, de különösen a humusz és N-tartalmat az iszapborítás lényegesen gyarapítja. Valószínű azonban, hogy az iszap közberétegződések kedvező hatása inkább a deflációvédelemnek, a vízgazdálkodási tulajdonságok megjavításának tulajdonítható.

Összefoglalva megállapítható, hogy a fluviatilis szedimentáció egyrészt öntéstalajokat, másrészt alluviális talajképző kőzetet, talajképződési alapanyagot hozott létre, a görgeteg durva kavicsanyaga pedig kedvező természetes drenázst biztosít a területnek és ezen keresztül befolyásolja a talajképződési folyamatokat.

3. A talajszelvény differenciálódása.

Amennyiben a területen nincs defláció, erózió, vagy szedimentáció és a növények fejlődését mesterséges vízellátás biztosítja, úgy megindul a talajszelvény bizonyos differenciálódása. A talaj időszakos átnedvesedése, a nedvesedés-kiszáradás periodikus ismétlődése, a dúsabb növényzet fokozott CO_2 -termelése egy sokkal intenzívebb mállást eredményez. Ugyanakkor a gyökérszónában megindul a humuszfelhalmozódás, bár ez a növényi tarló- és gyökérmaradványok gyors aerob bomlása miatt meglehetősen lassú és kismértékű. Elég azonban ahhoz, hogy a növényi gyökerek mechanikai hatásával együtt bizonyos szerkezetképződést indíthasson meg (gyengén kifejezett, elporosodó, morzsás-aprópoliéderes szerkezet). A gyökérszóna talajoldatának fokozott CO_2 -koncentrációja elősegíti a talaj lúgos kémhatása miatt egyébként csak igen kismértékben oldódó $CaCO_3$ mobilizációját és azt eredményezi, hogy a gyökerekkel sűrűn átszőtt felszíni talajrétegekből bizonyos mennyiségű $CaCO_3$ lugzódik lefelé és csapódik ki a gyökérszóna alatt, ahol a talajoldat CO_2 -koncentrációja hirtelen lecsökken. Ez a $CaCO_3$ -migráció gyakran csak morfológiai bélyegeiben figyelhető meg (finom mészlepedék, pszeudomicélium a gyökérszóna alatti talajrétegek szerkezeti elemeinek felületén), ugyanis a mennyiségi átrendeződés nyomonkövetését a rétegek eredetileg különböző $CaCO_3$ -tartalma gyakran nem teszi lehetővé. A vizsgált terület talajaiban az agyagásványok szétesése és képződése nem jelentős, s ugyancsak nem figyelhető meg jelentősebb agyagmozgás sem a talajszelvényben. A vízoldható sók migrációjára a következő részben térünk ki részletesebben.

4. Szikesedési folyamatok [10, 11]

A Wadi Zabid területén az állandó magas hőmérséklet és alacsony légnedvesség nagy potenciális párolgást eredményez, a csapadék mennyisége pedig jelentéktelen. Az erősen negatív vízmérleg nagyon kedvez a töményedési, felhalmozódási folyamatoknak. A vizsgált terület alatt a talajvíz mélyen helyezkedik el, kavicsban áll és általában még a talajvízmaximum idején sem éri el szintje a finomabb üledékrétegeket. Így kapilláris úton nem juthat vízben oldott só a talajvízszint feletti talajrétegekbe. A talajvízdomborzatnak a tenger felé elég jelentős esése van, s mivel a talajvíz a hegylábi törmelékeltörőről, a Wadiból és az öntözött területekről ismételtén friss vízutánpótlást kap, horizontális áramlása jelentős és a tenger felőli felszínalatti sósvízbeszivárgás csak egész keskeny partmenti sávon érvényesül. Mindezen körülmények alapján

talajvízből történő szikesedéssel jelenleg nem kell számolnunk, még akkor sem, ha a jelenleginél jóval nagyobb területeket vonunk be öntözésbe:

a) csökutas öntözés esetén a talajvízszint süllyed, de semmiképpen sem emelkedik;

b) ugyanez a helyzet a Wadiból történő öntözés korszerűsítése esetén is, hisz a Wadi vizének visszatartásával annak talajvíztáplálását csökkentjük, a vadárasztásos öntözés korszerű módszerekkel való felváltása során pedig (a szivárgási veszteségek csökkentésével) mérsékeljük az öntözött területek talajvíztáplálását.

Nem zárható ki azonban az öntözővíz szikesítő hatásának a lehetősége, annak ellenére, hogy a terület természetes drénviszonyai általában kedvezőek (könnyű mechanikai összetételű talajok, kavics altalaj, mély talajvízszint). Bizonyítja ezt például a terület nyugati részén levő, csökutakból öntözött farmok néhány táblájának elszikesedése, vagy a terület délkeleti részén létesített kísérleti farm területén a talajok mélyebb rétegeiben tapasztalt só- illetve kicserélhető Na^+ -felhalmozódás. Az öntözővíz szikesítő hatása két módon érvényesülhet:

a) a helyi mállás, illetve a helyi mállástermékek felhalmozódásának elősegítése révén,

b) az öntözővíz sótartalmának felhalmozódása révén.

Ha figyelembe vesszük, hogy a terület nagyrészen a talaj anyagát bázikus vulkánikus kőzetek (andezit, bazalt) részben mállott, Na-tartalmú ásványai alkotják, könnyen érthető, hogy az öntözővíz a mállás közvetlen és közvetett (növényzet létének biztosítása) elősegítésével, a helyi mállástermékek felhalmozásával is előidézheti a talaj só- és/vagy kicserélhető Na^+ -tartalmának megnövekedését, a talaj ellugosodását, elszikesedését még akkor is, ha az öntözővíz minősége kifogástalan.

A Wadi vize kis sótartalmú, szódát csak nyomokban tartalmaz, SAR-értéke alacsony, $\text{Na}\%$ -a viszont megközelíti az 50-et. Hazai öntözővízminősítési-rendszerünk [4] szerint e Na-HCO_3 , Cl , SO_4 típusú víz minden esetben, vagy egyes talajféleségeknél (jó vízgazdálkodási tulajdonságok, kedvező drénviszonyok) használható öntözésre. Az USA vízminőségi osztályozása [5] szerint a víz C_2S_1 kategóriába tartozik (medium salinity, low sodium water), s mint ilyen, öntözésre speciális intézkedések nélkül is felhasználható, különösen ha a talaj drénviszonyai megfelelőek és a termesztett növények nem különlegesen só- (vagy Na-) érzékenyek. Hogy az igen erős párolgás ellenére az évszázados öntözési gyakorlat következtében nem szikesedtek el nagyobb területek, annak fő oka, hogy a Wadi nagyvize idején (mikor az öntözések zöme lezajlik) annak vízminősége jó, másrészt a vadárasztásos öntözések igen nagy árasztóvíz-adagjai (1000–1500 mm) a kedvező természetes drénviszonyokkal rendelkező területeken (lejtés a tenger felé, kavics altalaj, mély, kavicsba álló talajvíz) bőségesen fedezték a talajok kilúgzási vízszükségletét és elegendőek voltak a felhalmozódott sók kimosására és a talajvízen keresztül a területről történő eltávolítására. A jövőben azonban, mikor a korszerű öntözési gyakorlat sokkal kisebb öntözővízadagokat alkalmaz majd, ez a kilúgzó hatás nem érvényesül ilyen egyértelműen és nedvesség-migrációvá alakul. Ilyen körülmények között pedig a száraz és forró klíma, az intenzív párolgás következményeként fokozatosan, esetleg csak több éves öntözés után, sófelhalmozódási és szikesedési folyamatok következhetnek be. Ez a veszély fokozottan fennáll a csökutas öntözések esetében. Ilyenkor ugyanis — a víz kiemelésének jelentős

költségei, nehézségei miatt — általában kisebb vízadagokat alkalmaznak és a talajvíz minősége öntözési szempontból kevésbé kedvező, mint a Wadi vizéé (2. táblázat). A Na-HCO_3 típusú talajvíz hazai öntözővízminősítési-rendszerünk [4] szerint egyes talajféleségeknél (jó vízgazdálkodási tulajdonságok, könnyű mechanikai összetétel, kedvező drénviszonyok) használható öntözésre. Az USA vízminőségi osztályozása [5] szerint a víz a C_2S_1 (medium salinity — low sodium water), illetve C_3S_1 (high salinity — low sodium water) kategóriába tartozik, s mint ilyen csak jó vízvezetőképességű talajokon, jó drénviszonyokkal rendelkező területeken és megfelelő rendszabályok betartása mellett használható — nem sóérzékeny növények öntözésére.

A vízminőség problémák elsősorban a vizsgált terület nyugati részén jelentkeznek. Ennek két oka lehet: vagy hajdani, fosszilis tengeri üledékek növelik a sótartalmat, vagy (s ez valószínűbb) a Wadi Zabid területének vastag, finomszemcsés üledékrétegein átszivárgó vizek útjuk során dúsulnak fel só-tartalomban.

A talajvíz öntözésre történő felhasználása egyre inkább terjed az egész Tihama Alföldön. A parasztok eddigi tapasztalatai igen kedvezőek, az öntözött földek növényállománya dús, üdezőld, a termések nagyok. A közölt eredmények azonban óvatosságra intenek és a szikesedés veszélyének aktualitását néhány öntözött tábla szikesedése gyakorlatilag is igazolja. Az öntözési rendszer korszerűsítése során ezért feltétlenül figyelmet kell fordítani — különösen a tapasztalatszerzés kezdeti időszakában — az öntözővizek és öntözött talajok állandó minőségi ellenőrzésére. Ennek hiányában az öntözések területi kiterjesztésével igen nagy kockázatot vállalunk és esetleg jövőtehetetlen károkat okozunk. Megfelelő ellenőrzési rendszer mellett azonban az öntözés, elsősorban a vádikhoz nem kötött talajvízöntözés, a Tihama Alföld jelentős területein lesz elterjeszthető, lehetőséget nyújtva ezzel a terület mezőgazdasági potenciáljának igen jelentős fokozására.

Ezúton mondunk köszönetet György Istvánnak, a VIZITERV igazgatójának, Scheitz Emilnek, a VIZITERV létesítmény főmérnökének, a FAO/UNDP Wadi Zabid Project igazgatójának és igazgatóhelyettesének, Vermes Miklósnak és Dr. El Eryaninak, hogy munkánkat lehetővé tették és támogatták. Köszönetet mondunk továbbá a Wadi Zabid Project munkatársainak, dr. Csermák Bélának, a VITUKI főosztályvezetőjének, Erdi Sándornak, a VIZITERV főmérnökének, Gálffy Jánosnak, a VITUKI geofizikusának és Rédey Kálmánnak, a VIZITERV geológusának a szóbanforgó területre vonatkozó meteorológiai, felszíni víz hidrológiai, talajvíz hidrológiai, geofizikai és geológiai adataik rendelkezésünkre bocsátásáért.

Összefoglalás

Vizsgálatainkat a FAO/UNDP Wadi Zabid Project keretében végeztük az Arab Fél-sziget déli részén elhelyezkedő Jemeni Arab Köztársaságban, a hegyvidéki-fennsíki területek és a Vörös-tenger között húzódó Tihama Alföldön, a Wadi Zabid hatásterületén. A vizsgálatok célja az volt, hogy a mintegy 20 000 ha-nyi vizsgált területen felmérjük a talajviszonyokat, értékeljük a terület mezőgazdasági potenciálját és alapot szolgáltatassunk a mezőgazdaságfejlesztési lehetőségek feltárásához és jövőbeni kiaknázásához.

Jelen közleményünkben a terület természeti viszonyait, mint talajképződési tényezőket elemeztük és áttekintést nyújtottunk a területen végbemenő fontosabb talajképződési folyamatokról.

A vizsgált terület jellegzetes arid-trópusi vidék, éghajlata száraz és meleg. Geomorfológiai szempontból a Wadi Zabid hatalmas törmelékkúpja. A harmadkor végén, negyedkor elején lesüllyedt magmatikus medencealjzatot a Wadi 200—1000 m vastag fluviatilis üledékeivel borította, amelyekbe helyenként eolikus szedimentumok is közberétegződtek. A medencealjzat, a 0—9 m mélységben előforduló görgeteg-kavics és a talajfelszín egyaránt lejt a tenger felé, s biztosít kedvező természetes drenázst a területnek.

Természetes viszonyok között (nedvesség és növényzet hiányában) a kémiai mállás és a talajképződési folyamatok lehetőségei igen korlátozottak és elsősorban olyan folyamatok érvényesülnek, mint a szél tevékenysége (eolikus szedimentáció, defláció, homokverés stb.), illetve a Wadi eróziós és szedimentációs munkája. Öntözött viszonyok között az ember tevékenysége egyrészt e folyamatokat módosítja, vagy szünteti meg (deflációvédelem, mederszabályozás, vadárasztásos öntözés stb.), másrészt az időszakos átnedvesedés biztosításával, dús növényállomány létrehozásával bizonyos enyhe talajképződési folyamatok (humuszfelhalmozódás, szerkezetképződés, CaCO_3 -migráció, kilúgzódás stb.) megindulását teszi lehetővé, ami a talajszelvény bizonyos differenciálódását eredményezi. Egy korszerűbb öntözési gyakorlatra való áttérés esetén — a kisebb vízadagok miatt — sófelhalmozódási és szikesedési folyamatok veszélyével is számolni kell.

Közleményünk második részében a vizsgált terület talajviszonyai és talajhasznosítási lehetőségeit ismertetjük részletesebben.

Irodalom

- [1] BOROS, I., SZABOLCS, I. & VÁRALLYAY, GY.: Talajvizsgálatok a Tihama Alföldön (Jemeni Arab Köztársaság). II. Talajviszonyok és talajhasznosítási lehetőségek. *Agrokémia és Talajtan*. 19. 433—464. 1970.
- [2] BURINGH, P.: Introduction to the Study of Soils in Tropical and Subtropical Regions. Centre for Agric. Publ. Doc. "Pudoc". Wageningen. 1968.
- [3] CSERMÁK, B.: Surface water. Preliminary Hydrological Study to the Survey of the Agricultural Potential of the Wadi Zabid. (Yemen). Annex II to the Wadi Zabid Project. 3rd Per. Rep. Budapest. (Kézirat) 1969.
- [4] DARAB, K. & FERENCZ, K.: Öntözött területek talajtérképezése. OMMI Genetikus talajtérképek. Ser. 1. No. 10. Budapest. 1969.
- [5] Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils. US Dept. Agric. Handbook No. 60. Washington. 1954.
- [6] ÉRDI, S.: Interim Report on Underground Water Development to the Survey of the Agricultural Potential of the Wadi Zabid. (Yemen). SF/YEM 1—3/LA. Budapest. (Kézirat) 1970.
- [7] GÁLFY, J.: Preliminary Geophysical Report on the Survey of the Agricultural Potential of the Wadi Zabid (Yemen). Budapest. (Kézirat) 1970.
- [8] Irrigation and Development of Lands under Cotton in the River Sardud Area (Tihama Valley) in the Yemen A. R. Szelkhozprom export, Azgiprovodkhoz Designing Intitute Moscow. (Kézirat) 1967.
- [9] Italconsult: Land and Water Surveys on the Wadi Jizan. (Kézirat) I. General Report. UNDP/FAO, Rome. 1966. II. Hydrological Report. UNDP/FAO, Rome. 1965. III. Groundwater Report. UNDP/FAO. Rome. 1965.
- [10] Salinity Problems in the Arid Zones. Proc. Teheran Symp., UNESCO. Paris 1961.
- [11] Source Book on Irrigation and Drainage of Arid Lands in Relation to Salinity and Alkalinity. FAO/UNESCO. (Draft Edition). Paris. 1967.
- [12] TOFFOLON, C.: Meteorological Observations in Jizan. FAO/56/8/5826. Rome. 1956.

Érkezett: 1970. november 11.

Soil Survey in the Tihama Lowland (Yemen Arab Republic)

I. Factors of Soil Formation and Soil-forming Processes

I. J. BOROS, I. SZABOLCS and G. VÁRALLYAY

Research Institute of Soil Science and Agricultural Chemistry of the Hungarian Academy of Sciences, Budapest

Summary

The FAO/UNDP Wadi Zabid Project Area, where the soil survey was carried out on about 20 000 hectares, is located in the southwestern tip of the Arabian Peninsula, Yemen Arab Republic, as a part of the Tihama Lowland, situated between the Highland and the Red Sea (Figs. 1 and 2).

The main purpose of the soil survey was to estimate the agricultural potential of the Project Area, to explore the possibilities and conditions of its agricultural utilization and to furnish data for the agricultural development programme.

The natural conditions of the Project Area are examined as factors of soil formation and a description on the main soil-forming processes is given in the present paper.

1. The area surveyed is an arid tropical region, the climate is permanently hot and dry.

2. The volcanic bedrock of the Tihama Lowland subsided in the depth during the late Tertiary and early Quaternary. This depression was filled in by the 200–1000 m thick fluvatile sediment of the Wadi's extended alluvial fan. In some places aeolian sediments were intercalated in this fluvatile material. At present the coarse boulder and gravel material of the Wadi's bed-load is usually located under the 0–9 m thick finer deposits (re-transported loess-like material, colluvial, deluvial, proluvial deposits, desert sand, the alluvial deposits of wadis and the century-old wild-floodings, etc.) and provides good natural drainage conditions for the territory, the more so, since the solid bedrock, the gravel strata and the soil surface have a slope in the direction of the Red Sea.

3. The geomorphological character of the area is rather varied, mosaic-like because of natural formations (sand dunes, pseudo-sand dunes, brittle crusts, desert pavements, deep scours of wadis, etc.) and human activity (soil conservation, protection against wind erosion, wild-flood irrigation, dikes, dams, etc.).

4. In the highland catchment area of the Wadi Zabid (covering a territory of about 5000 square kilometers) the rainfall causes sudden, intensive (several metres high) and short-time (a few hours') flood waves. The possibility and success of irrigation, the quantity and composition (texture, chemical composition) of the deposited matter depend on the duration and intensity of these flood-waves. The suspended matter content of the Wadi is 40–85 g/lit. during the flood-waves and only 0.01–2 g/lit. during low-water periods. The sediment transport of the Wadi Zabid to the Tihama Lowland totals up to 3–4 million tons/year suspended matter and about 0.3–0.4 million tons/year bed-load.

5. The considerable groundwater resources of the area surveyed are mostly recharged from the Wadi (about 2.0 m³/sec). The average depth of the water table is 7–40 m. The fluctuation of the water table is rather low (0–1.5 m), because the groundwater is — in most cases — in coarse boulder and gravel layers and there is a significant horizontal groundwater-flow towards the Red Sea due to the slope (5–10‰) of the water table. Consequently the effect of groundwater on soil-forming processes is negligible, practically there is no possibility for salinization and alkalization from the groundwater and the salty sea-water intrusion is limited to a rather narrow foreshore.

6. The native vegetation of the area is sparse (deeply rooted xerophyte grasses and shrubs) and only the irrigated denser crops have a considerable effect on soil formation.

7. Under the given conditions the soil-forming processes are rather limited. The soil climate is extreme: the bare soil surface and surface horizons are extremely hot (sometimes even 60–70 C° or more) and most part of the soil profile is always dry (dead horizon). There is an intensive physical weathering due to the extreme daily variations in temperature. The chemical weathering is rather slow for lack of soil moisture and biological activity (sparse vegetation) and there is no considerable humus accumulation, clay illuviation, CaCO₃, CaSO₄ and water soluble salt-migration within the soil profile.

Consequently the soil profile is rather uniform (or the stratification is due to deposits of different origin, age and texture) and the diagnostic soil horizons are weakly developed or absent.

8. The soil-forming processes taking place in the area surveyed are partly natural processes, partly due to human activity. These are as follows:

a) Deflation (wind-erosion) — aeolian sedimentation. In the past these processes played an important role in the formation of the Wadi's alluvial fan (intercalation) and the accumulation of thick loess-like deposits. At present these processes are decisive factors in the development of such geomorphological formations of the Tihama deserts as the sand dunes, pseudo-sand dunes, brittle crusts, desert pavements, etc. and the unprotected desert-margin areas are permanently exposed to deflation and/or sand sedimentation. Consequently these processes produced parent material on the one hand and became direct soil-forming factors on the other hand.

b) Erosion — fluvial sedimentation. These processes had and have decisive role in the formation of the Wadi's alluvial fan since about 30% of the Project Area is covered by alluvial soils and the parent material in the area surveyed is mostly alluvial deposit. In the past the bed-load sedimentation was significant in much larger areas but today it is limited to the Wadi-beds and their immediate vicinity. The sedimentation of the Wadi's suspended matter and the eroded matter produced and transported by the "from field to field" irrigation exist mainly on irrigated fields and result in the horizontally stratified soil profiles, intercalated silt accumulation layers and/or silt accumulation on the soil surface.

c) Soil profile development. In areas, at present not effected by deflation, erosion and/or sedimentation and supplied satisfactorily with water for irrigated farming, a weak soil forming process began (more intensive chemical weathering, slight humus accumulation, weak structure formation, CaCO_3 -redistribution, etc.) and tropical arid brown soils were formed, with a weakly developed pallid A-horizon and a weakly developed cambic B-horizon.

d) Salinization, alkalization. Though at present the possibilities of salinization and alkalization from the groundwater are practically excluded, under the given climatic conditions there is a potential danger of salinization and alkalization due to irrigation water. For wild-flood irrigation much higher water doses were applied than the leaching requirement of soils, but it will not be so in the future when the more up-to-date, less water-wasteful irrigated farming will use much lower rate of irrigation water. Consequently the regular and continuous control of irrigation waters and irrigated soils is necessary — especially in the areas irrigated by groundwaters (from tube-wells) of poorer quality (Table 2).

Table 1. Meteorological characteristics of the area surveyed (Data of the Wadi Zabid Project Meteorological Station). a) Air temperature, monthly average, °C. b) Relative humidity, %. c) Rainfall, monthly distribution, mm. d) Potential evaporation (from free water surface), monthly distribution, mm. e) Wind velocity, km/hour. f) Sunshine duration, hours.

Table 2. Chemical composition of waters in the area surveyed. 1—3. Water samples of Wadi Zabid. 4—7. Irrigation water (floodwater) samples. 8—14. Groundwater samples and number of the nearest soil profile. (1) Origin of water samples. (2) The part of the area surveyed the water sample originates from. K = eastern, köz = central, Ny = western, É = northern, ÉNy = north-western, EK = north-eastern, DNy = south-western. (3) The soil type under which the water sample was taken. (Code numbers see in the next paper). (4) Dry residue, g/liter. (5) Electric conductivity, mmhos/cm. (6) Soda equivalent. (7) Total N.

Table 3. Physical and chemical characteristics of a more recent surface silt accumulation layer (irrigational deposit). (1) Physical characteristics. (2) The most recent silt accumulation on the soil surface. (3) Normal topsoil. (4) Chemical characteristics. a) Particle-size distribution. b) Loss in HCl processing. c) Particle density. d) Total salt content, % e) Total humus, % f) Total N, % g) Aqua regia soluble. h) Lactate soluble.

Figure 1. Geographical position of the Yemen Arab Republic.

Figure 2. Geographical position of the Wadi Zabid Project Area.

Figure 3. Average annual rainfall in Yemen (After J. H. Stewart).

Figure 4. Aerial photograph of a wind-affected desert-margin area (Scale: 1 : 12 500).

Figure 5. Sand dunes in the Tihama Lowland.

Figure 6. The Wadi Zabid at Maadh.

Figure 7. Wadi-bed cut in loess-like material in the Tihama Lowland.

Figure 8. Aerial photograph of an intensively irrigated area with the main branch of the Wadi Zabid. (Scale: 1 : 12 500).

Figure 9. Native vegetation in the Tihama Lowland.

Figure 10. Irrigated durra-crop in the Tihama Lowland.

Figure 11. Geomorphological formations due to wind activity in the Tihama Lowland.

Figure 12. Surface silt accumulation on a wild-flooded soil in the Tihama Lowland

Prospection du sol sur la plaine basse Tihama (République Arabe de Yémen)

I. Facteurs et procès de formation des sols

I. J. BOROS, I. SZABOLCS et G. VÁRALLYAY

Institut de Recherches de Pédologie et de Chimie Agricole de l'Académie des Sciences de Hongrie, Budapest

Résumé

Le territoire du Projet d'oued Zabid de FAO/UNDP où la prospection des sols a été effectuée sur environ 20 000 hectares, se trouve sur le côté de sud-est de la Péninsule Arabe (la République Arabe de Yémen), comme une partie de la plaine basse Tihama située entre les Plateaux et la Mer Rouge (Figs. 1 et 2).

Le but principal de la prospection du sol était l'estimation du potentiel agricole du territoire du Projet et l'exploration des possibilités et des conditions de son utilisation agricole, de plus de fournir des informations pour une programme du développement agricole.

Les conditions naturelles de la région du Projet, les facteurs de la formation des sols étaient examinés et les procès principaux de celle-ci sont exposés comme suit.

1. La région examinée appartient à la zone tropicale aride, le climat est torride et sec pendant toute l'année.

2. La roche en place volcanique de la plaine basse Tihama s'est affaissée dans la profondeur pendant la fin du Tertiaire, commencement du Quaternaire. L'oued a remblayé cette dépression par les sédiments fluviaux d'épaisseur de 200—1000 m provenant de son immense cône de déjection. Sur certaines places, des sédiments éoliens se sont intercalés dans ces matériaux fluviaux. Les matériaux de graviers grossiers des blocs erratiques et des dépôts de fond de l'oued se trouvent aujourd'hui sous une couche plus fine à 0—9 m (matériau d'une sorte de loess retransporté, dépôts colluviaux, déluviaux, proluviaux au gel de silice, sable de désert, dépôts alluviaux des oueds et des irrigations par submersion séculaires, etc.) et assurent le territoire d'une bonne drainage naturelle, d'autant plus que la roche profonde, la couche de gravier et la superficie du sol ont une pente vers la Mer Rouge.

3. Le caractère géomorphologique du région est assez varié, mosaïqué à cause des formations naturelles (dunes, pseudo-dunes, croûtes friables, pavés du désert, délavages profondes des lits des oueds, etc.) et des activités humaines (conservation du sol, protection d'érosion éolienne, irrigation par submersion, digues, réservoirs, etc.).

4. Dans l'aire de captage du plateau de l'oued Zabid (environ 5000 km carrés), les pluies causent des vagues de crue soudaines, intensives (d'hauteur de plusieurs mètres) et courtes (durant quelques heures). La possibilité et le succès de l'irrigation, la quantité et la composition (texture et composition chimiques) du matériau suspendu et déposé dépendent de la durée et l'intensité de ces vagues de crue. La teneur en matériaux suspendus de l'oued est 40—85 g/lit. pendant les périodes des basses eaux. Le sédiment transporté par l'oued Zabid vers la plaine basse Tihama contient environ 3—4 millions de tonnes/année de matériau suspendu et environ 0,3—0,4 millions de tonnes/année de dépôts de fond.

5. Les réserves considérables de la nappe phréatique du région examinée reçoivent leur approvisionnement en premier lieu de l'oued (environ 2,0 m³/sec). La profondeur avérée de la nappe phréatique est 7—40 m. Sa fluctuation est relativement faible (0—1,5 m), car l'eau se trouve le plus souvent dans des couches de gravier grossier et des blocs erratiques et il y a un considérable écoulement horizontal par suite de la pente (5—10‰) de la nappe phréatique vers la Mer Rouge. Conséquemment, l'influence de la nappe phréati-

que sur les procès de la formation du sol est négligeable, en pratique, il n'existe pas la possibilité de salinisation et alcalinisation causée par l'eau phréatique, et l'infiltration souterraine de l'eau de mer salée est limitée sur un terrain assez étroit.

6. La végétation originelle du territoire est éparse (herbes xérophytes et abrisseaux de radication profonde). Ce n'est que la végétation foisonnante des terrains irrigués qui exerce une influence considérable sur la formation des sols.

7. Dans les conditions données, les procès de la formation des sols sont assez limités. Le pédoclimat est extrême: les surfaces nues et les couches superficielles sont très chaudes (quelquefois atteignant 60–70 °C ou encore plus) et la plupart du profil de sol est toujours sèche (horizon mort). L'altération est presque tout à fait un procès physique à cause des extrêmes variations diurnales de la température. L'altération chimique est très lente faute de l'humidité du sol et l'activité biologique (végétation éparse) et dans le profil, il n'y a pas d'accumulation humique considérable, d'alluviation d'argile, de migration de CaCO_3 , CaSO_4 ou des sels solubles dans l'eau. Conséquemment, le profil de sol est assez uniforme (ou la stratification peut être attribuée aux dépôts d'origines différentes, à l'âge et à la texture) et les horizons génétiques diagnostiques sont faiblement développés ou sont tout à fait absents.

8. Les procès de la formation du sol ayant lieu sur le territoire examiné, sont d'une part des procès naturels, d'autre part les conséquences de l'activité humaine. Les principaux sont les suivants:

a) Déflation (érosion éolienne) — sédimentation éolienne. Au passé, ces procès ont joué des rôles importants dans la formation du cône de déjection (intercalation) de l'oued et dans l'accumulation des dépôts épais loessoides. A présent, ces procès sont des facteurs décisifs dans le développement des formations géomorphologiques des déserts de Tihama, comme des dunes, pseudo-dunes, croûtes friables, pavés de désert, etc. et les parties marginales des déserts non protégées sont menacées constamment de la déflation et/ou de la sédimentation de sable. Conséquemment, ces procès produisaient des matériaux originels et aussi ils devenaient directement des facteurs de la formation du sol.

b) Érosion — sédimentation fluviale. Ces procès avaient, et ont encore aujourd'hui, une rôle décisive dans la formation du cône de déjection de l'oued, car environ 30 pour cent du terrain du Projet est couvert de sols alluviaux, et les matériaux originels du territoire examiné se constituent dans la plupart du dépôt alluvial. Au passé, la sédimentation des dépôts de fond se faisait valoir sur les terrains plus étendus, mais aujourd'hui, elle est limitée aux lits de l'oued et leurs environs du voisinage. La sédimentation des matériaux suspendus de l'oued et celle du matériau érodé et transporté par l'irrigation „du champ au champ” existe en premier lieu sur les terrains irrigués et elle cause la stratification horizontale des profils du sol, l'intercalation des couches d'accumulation de limon et/ou l'accumulation de limon sur la superficie du sol.

c) Le développement du profil de sol. Sur les terrains actuellement non affectés de la déflation, érosion et/ou sédimentation, et qui sont suffisamment pourvus d'eau nécessaire pour les cultures irriguées, un procès lent de formation du sol commence (une altération chimique plus intensive, accumulation humique faible, formation de structure, redistribution de CaCO_3 , etc.) et des sols bruns tropicaux arides, avec un horizon A pâle et un horizon B cambic, faiblement développé, se sont formés.

d) Salinisation, alcalinisation. Quoiqu'à présent la possibilité de salinisation et d'alcalinisation causée par la nappe phréatique, soit pratiquement exclue, dans les conditions climatiques données il existe un danger potentiel de salinisation et d'alcalinisation provenant de l'eau d'irrigation. En pratique de l'irrigation par submersion on emploie des quantités d'eau plus grandes que celles nécessaires pour le lessivage du sol, mais au cas des cultures irriguées modernes, se servant des quantités d'eau moins prodigues sur des terrains plus étendus, ces conditions ne seront pas assurées. C'est pourquoi le contrôle régulier et continu des eaux d'irrigation et des sols irrigués est nécessaire — spécialement sur les territoires irrigués de la nappe phréatique (par des puits à tube) aux qualités faibles (Tableau 2).

Tableau 1. Caractéristiques météorologiques concernant le région examiné (données de la Station de Météorologie du Projet de l'oued Zabid). a) Température de l'air, moyenne mensuelle, °C. b) Humidité relative, %. c) Quantité des pluies, distribution mensuelle, mm. d) Evaporation potentielle (des surfaces des eaux libres), distribution mensuelle, mm. e) Vitesse du vent, km/heure. f) Durée de soleillée, heures.

Tableau 2. Composition chimiques des eaux de la plaine basse Tihama. 1–3. Échantillons de l'eau de l'oued Zabid. 4–7. Eaux d'irrigation (eau des crues). 8–14. Nappe phréatique et No. des profils de sol voisin. (1) Origine des échantillons d'eau. (2) Lieu du prélèvement des échantillons sur le territoire examiné. K = est, köz = central,

Ny = ouest, É = nord, ÉNy = nord-ouest, ÉK = nord-est, DNy = sud-ouest. (3) Type de sol au-dessous duquel l'échantillon d'eau a été prélevé (dénomination voir dans l'article suivant) (4) Résidu sec, g/litre. (5) Conductivité électrique, mmhos/cm. (6) Equivalent de soude. (7) N total.

Tableau 3. Caractéristiques physiques et chimiques des dépôts d'irrigation. (1) Caractéristiques physiques. (2) Accumulation de limon récente sur la superficie du sol. (3) Couche arable voisin. (4) Caractéristiques chimiques. a) Composition granulométrique. b) Perte de transformation à HCl. c) Densité des particules. d) Quantité totale des sels, %. e) Humus total, %. f) N total, %. g) Soluble dans l'eau régale. h) Soluble dans lactate.

Fig. 1. Position géographique de la République Arabe de Yémen.

Fig. 2. Position géographique du région du Projet d'oued Zabid.

Fig. 3. Quantité moyenne annuelle des pluies au Yémen (selon J. H. Stewart).

Fig. 4. Photo aérienne du région marginal désertique affecté par le vent (à l'échelle de 1 : 12 500).

Fig. 5. Dunes sur la plaine basse Tihama.

Fig. 6. L'oued Zabid à Maadh.

Fig. 7. Lit de l'oued enfoncé dans un matériau loessoïde sur la plaine Tihama.

Fig. 8. Photo aérienne d'un région irrigué intensivement avec l'eau de l'oued Zabid (à l'échelle de 1 : 12 500).

Fig. 9. Végétation originelle sur la plaine Tihama.

Fig. 10. Plantes durra sur la plaine Tihama.

Fig. 11. Formations géologiques causées par l'activité du vent sur la plaine Tihama.

Fig. 12. Accumulation superficielle de limon sur les sols irrigués par submersion sur la plaine Tihama.

Почвенные исследования в долине Тихама Арабская Республика Емен

I. Факторы почвообразования, почвообразовательные процессы

И. БОРОШ, И. САБОЛЬЧ и Дь. ВАРАЛЛЯИ

Научно-исследовательский институт почвоведения и Агрохимии А. Н. Венгрии, Будапешт

Резюме

Наши исследования проводились в рамках FAO/UNDP Wadi Zabid Project, в Арабской Республике Емен, расположенной в Южной части Аравийского Полуострова, на низменности Тихама, залегающей между плоскогорьями и Красным морем в долине Вади-Забид. Целью наших исследований являлось изучение почвенных условий на территории 20 000 гектар, измерение сельскохозяйственного потенциала данной территории, заложение основ для выявления возможностей дальнейшего развития сельскохозяйственного производства, и для более эффективного использования природных ресурсов.

В данной работе характеризуются природные условия, как факторы почвообразования и дается представление о главных почвообразовательных процессах, протекающих на данной территории.

1. Исследованная территория является типичным аридным районом, круглый год здесь стоит сухая и жаркая погода.

2. В конце третичного, начале четвертичного периода произошло опускание вулканического происхождения коренных пород низменности Тихама, образовавшуюся впадину Вади заполнила флювиатильными отложениями огромного конуса выноса, мощностью в 200 × 1000 метров, которые местами переслаиваются эоловыми отложениями. В настоящее время грубые галечные наносы Вади перекрыты более тонкими наносами мощностью в 0—9 м/переотложенные лессовидные материалы, кремне-глеевые коллювиально-пролювиальные отложения, пустынные пески, аллювий Вади или аллювиальные отложения как результат многовекового орошения, что обеспечивает естественный дренаж, тем более, что плотное дно бассейна, слои галечника и поверхность почвы наклонены по направлению к морю.

3. Природные образования (песчаные дюны, «корки» «пустынные камини», глубоко-коррезанное русло Вади), а также деятельность человека (защита противдефляции, сис-

тема переплетающихся дамб для орошения напуском и т. д.) делают данную территорию весьма расчлененной и разнообразной по геоморфологическому строению.

4. В Вади-Забид осадки, выпадающие на водосборы гористых районов площадью всего в 5000 км², вызывают внезапное, высокое (несколько метров) небольшой продолжительности (несколько часов) наводнение. Успех орошения, количество и качество отложенного или зависят от этих наводнений. Во время наводнения количество взвеси в воде Вади равно 40—85 г/л, в спокойной воде всего 0,01—2 г/л. Вади ежегодно приносит и откладывает на равнину Тихама 3—4 миллиона тонн материала. Количество приносимого галечного материала составляет всего 10% и это не играет значительной роли с почвенной точки зрения.

5. Водный запас данной территории пополняется, в первую очередь, водами Вади (2 м³/сек). Уровень залегания грунтовых вод равен 7—40 м, отличается небольшой амплитудой колебания (0—1,5 м), так как грунтовые воды в основном залегают в слое галечника, водоносный слой имеет наклон к морю (5—10%) в результате чего имеется значительное горизонтальное движение грунтовых вод. Из этого следует, что влияние грунтовых вод на почвообразовательные процессы незначительное, засоление почвы из грунтовых вод практически исключено, подпочвенная фильтрация засоленных морских вод может вызвать засоление только узкой приморской полосы.

6. Естественная растительность изученной территории сильно разрежена (ксерофиты с глубокой корневой системой, кустарники) только более пышная растительность орошаемых площадей практически может оказывать влияние на почвообразовательные процессы.

7. Почвообразовательные процессы в данных условиях ограничены. Климат почвы экстремный: часто верхние горизонты обнаженных территорий нагреваются до 60—70° С, почва по всему профилю почти всегда сухая. В большой степени проходит физическое выветривание, но из-за недостатка воды и отсутствия биологической активности (разреженность растительного покрова) химическое выветривание проходит в очень незначительной степени, накопление органического вещества и передвижение материалов (вымывание глинистых частиц, миграция СаСО₃ и гипса, передвижение солей) небольшое. В соответствии с этим образованные почвы имеют однородное строение, ярко выраженных генетических горизонтов не наблюдается, почвенные разрезы отличаются слоями различного происхождения и различного механического состава.

8. Почвообразовательные процессы протекают частично под влиянием природных факторов, частично под прямым или косвенным влиянием деятельности человека. Главными из них являются:

а) Дефляционно-эолическая седиментация. В прошлом большую роль играла в создании конуса выноса, в накоплении мощных лёссовидных отложений. В настоящее время играет роль в формировании определенных характерных геоморфологических формаций (песчаных дюн, псевдо-песчаных дюн «хрупких коро», «пустынных камней» и т. д.) на пустынных территориях долины Тихама или угрожает дефляцией незащищенным территориям по окраинам пустыни. В этом случае является не только почвообразующей породой, но становится прямым фактором почвообразования.

б) Эрозионно-флювиальная седиментация. Играла решающую роль в образовании конуса выноса Вади, так как почвенный покров изученной территории на 30% состоит из аллювиальных почв и почвообразующими породами являются, главным образом, аллювиальные отложения. Грубая галечная седиментация в прошлом проявлялась на значительных территориях, в настоящее время встречается только по руслу Вади и на прилегающих к нему территориях. Седиментацию тонких отложений Вади и эрозионного материала, переносимого с поля на поле оросительными водами, можно наблюдать, в первую очередь, на орошаемых территориях где она является причиной горизонтальной слоистости почвенного профиля, образования между слоями узких илистых полос или поверхностного наилака.

в) Дифференцирование почвенного профиля. На территориях где нет процессов дефляции, эрозии или седиментации и растения обеспечиваются водой проведением орошения, там начался медленный процесс почвообразования (более интенсивное химическое выветривание, слабое накопление гумуса, структурообразование, выщелачивание СаСО₃ и т. д.), что привело к образованию тропических аридных бурых почв.

г) Накопление солей, процесс засоления. Хотя на изученной территории нет прямой угрозы засоления почв из грунтовых вод, все же в данных климатических условиях может происходить засоление под влиянием орошения. До сих пор орошение затоплением обеспечивало количество воды, необходимое для выщелачивания. Новые более экономичные и современные методы орошения, обеспечивающие орошение более значительных площадей меньшими нормами воды не могут обеспечить протекание этого процесса. Поэтому

необходимо обеспечить контроль за поливными водами и орошаемыми почвами, особенно при использовании для орошения грунтовых вод неблагоприятного химического состава из трубчатых колодцев.

Во второй части работы подробно описываются почвенные условия и возможности сельскохозяйственного использования изученной территории. Там же дается литературный обзор, для двух частей работы.

Табл. 1. Некоторые важные метеорологические данные для изученной территории (данные метеорологических станций Wadi-Zabid Project). *a)* Среднемесячные температуры °C. *b)* Относительная влажность в %. *c)* Месячные количества осадков в мм. *d)* Месячное испарение в мм. *e)* Скорость ветра в км/час. *f)* Количество солнечных часов.

Табл. 2. Химический состав вод в долине Тихама. 1—3. Воды Вади-Забид. 4—7. Воды для полива затоплением. 8—14. Грунтовые воды и номер разреза. (1) Место взятия воды. (2) Место происхождения вод на изученной территории, *K* = восток, *KbZ* = средний, *Ny* = запад, *E* = север, *ENy* = северозапад *EK* = северо-восток *DNy* = югозапад, (3) Под каким типом почвы залегают. (4) Сухой остаток в г/л. (5) Электропроводность миллим хос/см. (6) Эквивалент соды. (7) общий азот.

Табл. 3. Химические и физические свойства отложений. (1) Физические свойства. (2) Свежий поверхностный наилк. (3) Верхний слой почвы разреза находящегося рядом. (4) Химические свойства. *a)* Механический состав. *b)* Потеря от обработки соляной кислотой. *c)* Удельный вес. *d)* Сумма солей в %. *e)* Общий гумус в %. *f)* Общий азот в %. *g)* Растворимый в царской водке. *h)* Растворимый в лактате

Рис. 1. Географическое расположение Арабской Республики Емен

Рис. 2. Географическое расположение исследованной территории

Рис. 3. Распределение среднегодового количества осадков в Емене (по Stewart)

Рис. 4. Аэроснимок одного района на границы пустыни, подверженного дефляции (масштаб — 1 : 12 500)

Рис. 5. Песчаные дюны в долине Тихама

Рис. 6. Главное русло Вади Забид возле Маадх

Рис. 7. Русло Вади, врезанное в лёссовидные отложения в долины Тихама

Рис. 8. Аэроснимок одной из территорий Вади-Забид, подверженной интенсивному орошению (масштаб — 1 : 12 500)

Рис. 9. Естественная растительность в долине Тихама

Рис. 10. Растительность (*Sorghum* sp.) орошаемых территорий долины Тихама

Рис. 11. Геоморфологические образования в долине Тихама возникшие под влиянием деятельности ветра

Рис. 12. Образование поверхностного наилка под влиянием орошения затоплением в долине Тихама